

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Studium rozhraní substrát – tenký povlak

Study of Boundary-line Substrate – Thin Coating

Student:

Miloslav Hýbl

Vedoucí bakalářská práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Miloslav Hýbl**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Specializace: **70 Strojírenská technologie**
Téma: **Studium rozhraní substrát - tenký povlak**
Study of Boundary-line Substrate - Thin Coating

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte složení a vlastnosti tenkých organických povlaků.
2. Prostudujte mechanismus adheze ocelového substrátu a tenkého povlaku.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální zkoušky a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu 25 - 30 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
KOLASINSKI, K. W.: *Surface Science. Foundations of Catalysis and Nanoscience*. John Wiley and Sons, LTD, England, 2002. 300 s. ISBN 0-471-49245-0.
BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě
20.5. 2010

.....
Miloslav Hlup
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2010

Miloslav Hýbl
.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Miloslav Hýbl

Adresa trvalého pobytu autora práce: Potoční 105, Leština 789 71

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HÝBL, M. *Studium rozhraní substrát – tenký povlak*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 55 s. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se zabývá studiem rozhraní substrát – tenký povlak. Teoretická část obsahuje studium vlastností a předběžných úprav kovového povrchu, složení a nanášení nátěrových hmot. V experimentální části jsou v laboratorních podmínkách zhotoveny zkoušky na vzorcích s různým nátěrovým systémem aplikovaným na tentýž ocelový podklad. Výsledné hodnoty zkoušek jsou zpracovány do tabulek a grafů. Nátěrové systémy jsou na základě těchto hodnot mezi sebou porovnány.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HÝBL, M. *Study of Boundary-line Substrate – Thin Coating*. Ostrava: Department of Mechanical Engineering Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 55 p. Bachelor thesis, head doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bachelor thesis investigates the interface substrate - thin coating. The theoretical part contains a study of the properties and pre-fitting metal surface, the composition and coating. In the experimental part are constructed in the laboratory tests on samples with different coating system applied to the same steel substrate. The resulting values of the tests are processed into the tables and the graphs. The coating systems are compared on the base of these values.

Obsah:

Seznam použitých zkratek	8
0 Úvod	9
1 Povrch a jeho vlastnosti.....	10
1.1 Definice povrchu.....	10
1.2 Geometrické a mechanické vlastnosti povrchu	10
1.3 Struktura povrchu	11
1.3.1 Struktura povrchu z atomárního hlediska	12
1.4 Adsorpce	13
1.5 Smáčecí schopnost.....	13
2 Předběžné úpravy povrchu	14
2.1 Mechanické úpravy povrchu.....	14
2.1.1 Otryskávání	14
2.1.2 Omílání	16
2.1.3 Broušení, leštění, kartáčování	18
2.2 Chemické úpravy povrchu	18
2.2.1 Odmašťování.....	19
2.2.2 Moření.....	20
3 Nátěrové hmoty	21
3.1 Složení nátěrových hmot	21
3.2 Nanášení nátěrových hmot.....	23
3.3 Tenká vrstva.....	25
3.4 Nanotechnologie	26
3.4.1 Nanomateriály (nanostrukturní materiály).....	26
3.4.2 Využití nanotechnologií v automobilovém průmyslu	26
4 Metodika experimentálních prací	28
4.1 Podkladový materiál:	28

4.2	Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu. dle ČSN EN ISO 8501-1	29
4.3	Stanovení prachu na povrchu dle ČSN ISO 8502-3	29
4.4	Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287	30
4.5	Stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808.....	31
4.6	Odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16276-1	31
4.7	Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2.....	32
4.8	Zhotovení řezu a mikrosnímků	34
5	Vyhodnocení experimentálních prací	34
5.1	Výsledek vizuálního vyhodnocení čistoty povrchu.....	37
5.2	Výsledek stanovení prachu na povrchu	38
5.3	Vyhodnocení drsnosti podkladového materiálu	38
5.4	Výsledky stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu.....	39
5.5	Výsledky odtrhové zkoušky.....	40
5.6	Výsledky mřížkové zkoušky.....	42
5.7	Zhotovené mikrosnímky	44
6	Závěr:.....	48
7	Seznam použité literatury:	50
	Seznam příloh:	52
	Seznam obrázků:.....	53
	Seznam tabulek a grafů:.....	55

Seznam použitých zkratek

ČSN	Česká státní norma [-]
EN	Evropská norma [-]
ISO	Mezinárodní norma [-]
GOST	Ruská státní norma [-]
L	měřená délka [mm]
C	uhlík [-]
P	fosfor [-]
S	síra [-]
A ₅	nejnižší tažnost [%]
R _m	pevnost v tahu [MPa]
R _a	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm]
R _z	největší výška profilu [μm]
R _y	maximální výška profilu [μm], (dle JIS 94)
R _q	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu [μm]
R _p	největší výška výstupků profilu [μm]
R _v	největší hloubka prohlubní profilu [μm]
R _{sk}	šikmost posuzovaného profilu [-]
R _{ku}	špičatost posuzovaného profilu [-]
Fe ₂ O ₃	oxid železitý [-]
H ₃ PO ₄	kyselina fosforečná [-]
λ _c	filtr profilu [mm]

0 Úvod

Kov, díky svým vlastnostem, slouží lidstvu již velmi dlouhou dobu a beze sporu stojí za rozvojem celé řady technologií. V současné době je téměř nemožné představit si život bez ocelových konstrukcí, průmyslových výrobků, strojů a nástrojů používaných v každodenním životě. Ani v této době není většina běžně používaných konstrukčních materiálů schopna bez vhodné povrchové úpravy odolat agresivnímu koroznímu prostředí. Jednou z nejčastěji používané ochrany kovového povrchu, s ohledem na životní prostředí a ekonomickou stránku, je aplikace nátěrového systému. Nátěrový systém nejen dokáže předcházet znehodnocení materiálu vnějším prostředím, ale je také schopen dodat mu estetický vzhled svou nepřebernou škálou odstínů a barev. Tenká vrstva disponuje stejnými, neméně účinnými vlastnostmi. Má jednu výhodu navíc. Tou je díky své tloušťce nátěrového systému menší spotřeba nátěrové hmoty, která znamená ekonomickou úsporu. Tenká vrstva je vhodná především v hutní produkci, ale i tam, kde je zapotřebí jen krátkodobé ochrany.

1 Povrch a jeho vlastnosti

1.1 Definice povrchu

Povrch lze chápat jako obálku makroskopického objektu, který tvoří hranici mezi základním materiálem a okolím. Povrch objektu tvoří rozhraní mezi dvěma fázemi a určuje jeho vzhled. U velkých objektů s menším poměrem povrchu k jeho objemu jsou chemické a fyzikální vlastnosti povrchu určeny především vlastnostmi základního materiálu. U malých objektů s větším poměrem povrchu k jeho objemu jsou vlastnosti výrazně ovlivněny povrchem. Funkční vlastnosti povrchu nejsou závislé jen na vnější vrstvě, která tvoří rozhraní, ale také na oblasti, která směřuje pod povrch. Využití charakteristik povrchu směrem do hloubky materiálu je jistým stupněm klasifikace povrchu, kterému odpovídá i jisté rozdělení povrchu. [1]

Oblast	Rozměr	Funkční ovlivnění
HORNÍ NANOVRSTVA	0,1 nm	Adsorbce, chemická reaktivita
TENKÝ FILM OXIDACE	0,1 ÷ 100nm	Odrazivost, tření, koroze, tepelná vodivost
VNĚJŠÍ POVRCH. VRSTVA	0,1 ÷ 10 μm	Deformace struktury
CELKOVÁ VRSTVA	> 100 μm	Adheze, nátěry

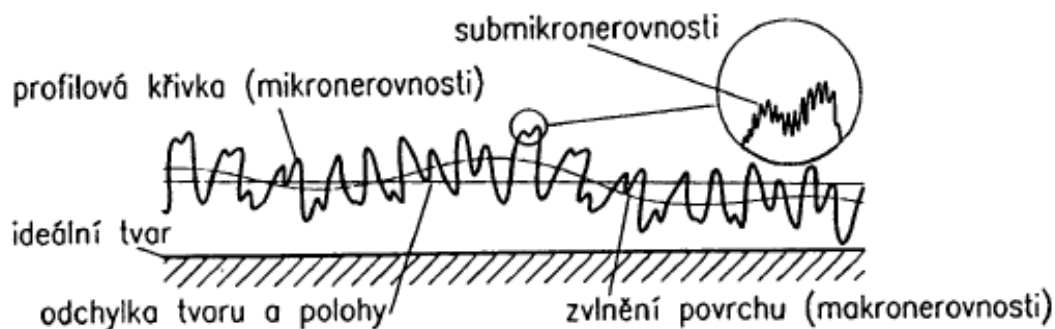
Tab. 1 - Oblasti povrchu [1]

1.2 Geometrické a mechanické vlastnosti povrchu

Z hlediska funkce součásti jsou v mnoha případech geometrické vlastnosti povrchu rozhodující např. (v optice), nebo jsou velmi důležité (tření, únava, atd.). Jestliže ani povrch monokrystalů s úplnými atomárními rovinami nemůžeme nazvat dokonale rovinným, tím větší rozdíly jsou u polykrystalického materiálu, kde se navíc vytváří vrstvy odlišných vlastností a struktur. Příkladem je vznik oxidu hliníku na povrchu čistého kovu během velmi krátké doby. Za normálních podmínek o tloušťce 0,003 – 0,004 nm. Podobně se mění i povrch železa. [3]

Odchylky od ideální rovinnosti

Mohou vznikat při výrobě součásti, při přípravě povrchu, ale také jako důsledek změn vyvolaných vnějšími silami nebo prostředím. Při plastické deformaci vznikají nerovnosti vlivem skluzových rovin.



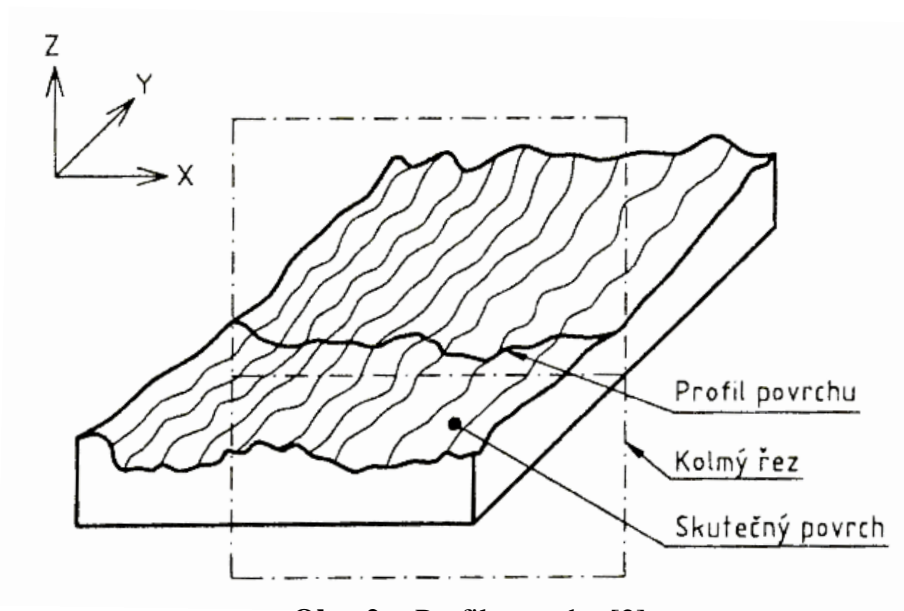
Obr. 1 - Geometrie povrchu [3]

Na povrchu obráběné součásti vznikají nerovnosti vlivem technologického procesu. Tyto nerovnosti jsou stopou po řezném nástroji, brusivu nebo jiskrovém výboji. Na neobrobených površích zůstávají otisky nerovností zapříčiněné typem zpracování - forem u odlitků, kovadel a zápustek u výkovků, válců, průvlaků apod.. Po opracování je povrch zvlněn, zvlnění považujeme za makronerovnostmi, za mikronerovnosti považujeme např. rýhy vytvářené nástrojem. [3]

1.3 Struktura povrchu

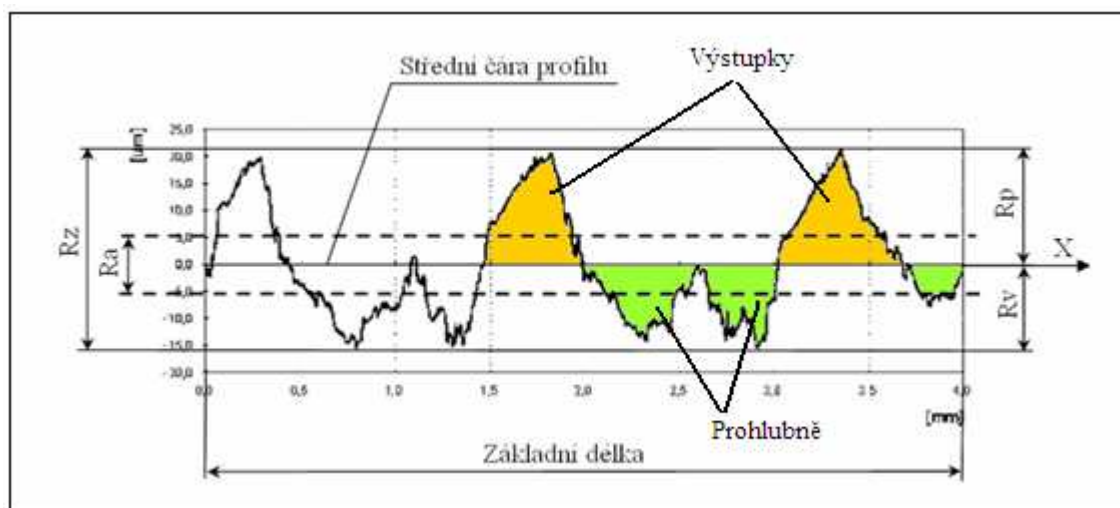
Pro posuzování nerovností povrchu je nutné brát na zřetel dva důležité pojmy. Nedokonalost a strukturu povrchu. Nedokonalosti povrchu jsou např. rýhy, trhliny, mikrotrhliny, póry apod. Tyto a další nedokonalosti povrchu se nezahrnují do hodnocení struktury povrchu. [2]

Struktura povrchu jsou náhodné nebo opakované úchyly od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu. Strukturu povrchu lze členit na složky podle velikostí rozteče příslušných nerovností. Složka s nejmenší roztečí nerovností tvoří drsnost povrchu. Další složkou je vlnitost povrchu a složka s největší nerovností je určena základním profilem. Pro účely měření a vyhodnocování struktury profilu se často volí profilová metoda hodnocení, kdy profil povrchu vzniká jako průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu. [2]



Obr. 2 - Profil povrchu [2]

Z profilu povrchu se pomocí přístrojů odvodí profil drsnosti, který je potom základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti povrchu.



Obr. 3 - Profil drsnosti povrchu [9]

1.3.1 Struktura povrchu z atomárního hlediska

Volný povrch kovů představuje zpravidla povrch velkého souboru zrn, která tvoří rozhraní mezi pevnou fází a okolím. Atomům, které jsou na povrchu pevné látky chybí polovina jejich nejbližších sousedů ve srovnání s atomy, které jsou uvnitř látky. V důsledku toho je silové působení na atomy, které se nachází na povrchu jiné, než silové působení na atomy uvnitř. To ovlivňuje vzájemnou konfiguraci atomů, takže struktura tenké povrchové vrstvy se liší od struktury objemové. Struktura povrchu pevné látky




významně ovlivňuje její vlastnosti. Především její interakce s okolím, neboť ty jsou zprostředkovány právě povrchem. [4]

1.4 Adsorpce

Pokud se částice (atomy, ionty, molekuly) z vnějšího prostředí dostanou dovnitř pevné látky přes její povrch hovoříme o **absorpci**. Někdy se ovšem tyto částice na povrchu pevné látky pouze zachytí, aniž by přes něj pronikly, potom hovoříme o **adsorpci**. K adsorpci dochází proto, že atomy na povrchu pevné látky mají ve svém bezprostředním okolí méně atomů než atomy uvnitř. Z tohoto důvodu je jejich vazebná schopnost nenasycena a směřuje směrem ven do okolního prostředí. Adsorpce částic z vnějšího okolí probíhá jednak těmito nenasycenými vazbami a jednak van der Walsovy vazbami, jež na povrchu pevné látky již jsou nebo se při přiblížení částice zvnějšku k povrchu pevné látky vytvoří. [4]

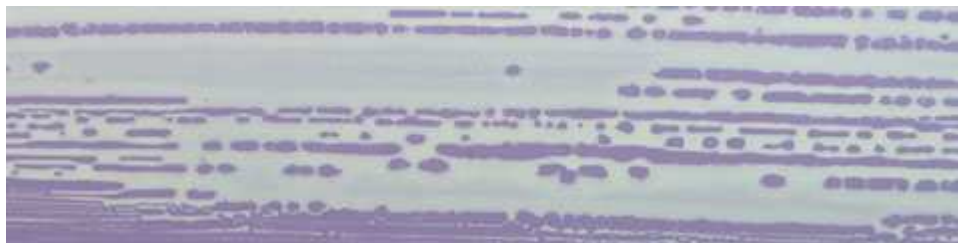
1.5 Smáčecí schopnost

Smáčecí schopnost substrátu je jednou z důležitých vlastností povrchu pro zajištění dobré adheze povlaku k substrátu. Dobrá smáčecí schopnost zajišťuje stejnoměrné kvalitní očištění povrchu a stejnoměrné pokrytí povrchu nátěrovou hmotou. Lze ji stanovit pomocí styčného úhlu θ kapky s povrchem. Dokonalého smáčení dosahujeme, je-li úhel $\theta = 0$. Dobré smáčení je ještě do velikosti úhlu $\theta = 90^\circ$. [5]

	Typ smáčení	Typ povrchu
$\theta = 0^\circ$	Dokonalé smáčení 	Tuhý povrch je lyofilní (např. sklo, oxidy a hydroxidy kovů atd...)
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	Dobré smáčení 	
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	Špatné smáčení 	Tuhý povrch je lyofobní (např. pevné uhlovodíky a fluorované deriváty, polymery, listy rostlin)

Tab. 2 - Smáčení povrchu [5]

Čistý povrch zbavený mastnoty a nečistot lze snadno smáčet vodou. Naopak znečištěný povrch v důsledku mastné vrstvy vodu odpuzuje.[5]



Obr. 4 – Příklad špatného smáčení [10]

2 Předběžné úpravy povrchu

Povrch kovů je znečištěn různými látkami, které se na něj vážou jednak mechanicky (prach, mastnoty, zbytky past, apod.) a jednak chemicky (oxidy, rez, okuje a pod.). Účelem předběžných úprav je zbavit povrch těchto nečistot a vytvořit kovově čistý povrch. [6]

2.1 Mechanické úpravy povrchu

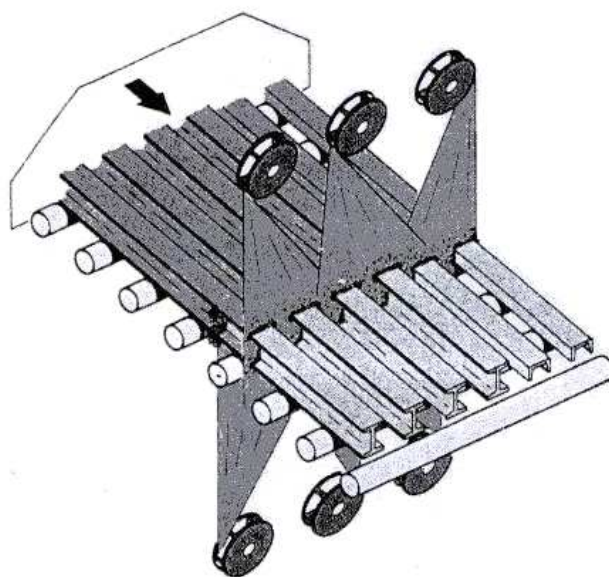
Mechanickými úpravami se čistí povrch materiálu, odstraňuje se rez, okuje, atd.. Vytváří se vhodné podmínky pro zakotvení povlaku. Zlepšují se mechanické vlastnosti (pevnost, mez únavy). Mezi mechanické úpravy povrchu patří: otryskávání, omílání, broušení, leštění a kartáčování. [6]

2.1.1 Otryskávání

Při otryskávání dopadá tryskací materiál vysokou rychlostí na povrch otryskávané součásti. Účelem otryskávání je zbavit součást nečistot, okují, korozních zplodin apod. Dopadající zrna tryskacího materiálu předávají svou kinetickou energii povrchu součásti a mění jeho mikrostrukturu podle jejich tvaru, tvrdosti, zrnitosti, hmotnosti a druhu materiálu. V povrchové vrstvě substrátu dochází zpravidla k vytvoření plastických deformací, které vedou ke zpevnění materiálu a zvýšení napětí v povrchových vrstvách.

Tento efekt lze prakticky využít pro zpevnění některých strojních součástí např. ozubená kola, povrch ložisek, apod. [6]

Účinek a intenzita čištění povrchu je dána tvarem zrn, druhem tryskacího materiálu, kinetickou energií, dopadovou rychlostí, úhlem dopadu a vzdáleností předmětu od tryskáče. Při použití kulatých zrn dochází k čištění a současně zpevňování povrchu, který je po otryskávání pokryt mělkými důlky. Výsledný povrch je zpevněný, hladký a odolnější proti korozi. [6]



Obr. 5 - Tryskání metacími koly [6]

Tryskací materiály

Tryskací materiál se volí podle stupně znečištění povrchu, tloušťky stěn a druhu otryskávaného povrchu. Nižším tlakem a jemnozrnnými materiály se otryskávají předměty tenkostěnné nebo předměty z měkčích materiálů. Hrubozrnné tryskací materiály se používají pro otryskávání těžkých a silnostěnných předmětů. Výkon otryskávání můžeme regulovat. [6]

Křemičitý písek

Pro pneumatické otryskávání se používá tříděný křemičitý písek s ostrohrannými zrny. Otryskává se do tlaku 0,3 MPa. Při vyšších otryskávacích tlacích hrozí pro obsluhu nebezpečí silikózy v důsledku nadměrného tříštění a prašnosti. [6]

Litinová drť

Litinová drť je asi 60x trvanlivější než křemičitý písek. Má rovnoměrnější jakost a zrnitost a má větší schopnost úběru. Přestože je dražší než křemičitý písek, je hospodárnější a hygieničtější. Litinovou drť se tryská automaticky do tlaku 0,7 MPa nebo za použití metacího kola. [6]

Sekaný drát

Sekaný drát disponuje především vysokou pevností až 160 MPa. Používá se pro mechanizované linky a pro metače s tryskacími koly. Je 5x dražší než litinová drť, ale je hospodárnější, protože se dále neštěpí, nedrtí a neopotřebovává tolik metací kolo. [6]

Balotina

Jedná se o skleněné kuličky ve velikostech 500 – 100 µm vyráběné granulací skla. Používá se po předchozím vyhlazování brusivem k vyhlazení a leštění. Povrch je poté pokryt drobnými důlky a je odolnější proti poškození a korozi. [6]

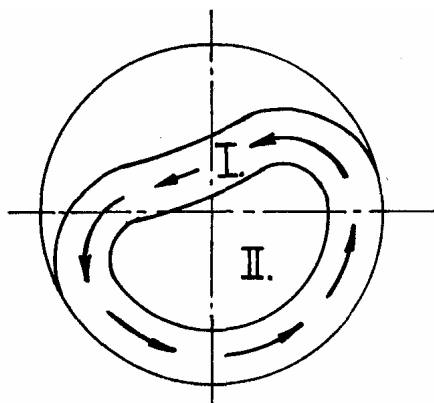
2.1.2 Omílání

Jedná se o způsob mechanické úpravy povrchu předmětů menších rozměrů, kdy se tyto předměty vzájemně odírají s omílacími tělesy za přítomnosti brusiva a kapaliny v otáčejícím se bubnu nebo zvonu. Větší předměty s hmotností vyšší než 1 kg lze rovněž omílat, ale je nutné upevnit je do přípravku v omílacím zařízení. [6]

Omílání se používá k odjehlování a leštění výrobků, k odstraňování zbytků korozních zplodin a nečistot nebo k odstraňování zbytků tavidel po svařování. Omíláním se odstraňuje pracné ruční broušení a leštění. Také se snižují výrobní náklady. Po dokončení je povrch zpevněný a odolnější proti korozi. Nevýhodou se stává nerovnoměrný úběr z povrchu předmětu, který je největší na hranách. Nemohou se tak omílat předměty, u nichž by otupení hran znamenalo znehodnocení výrobku. [6]

Při rotaci omílacího bubnu se uvnitř vytváří dvě oblasti, přičemž jejich rozhraní není přesně odděleno. První vrstva má tvar prstence. V určitém okamžiku se odtrhuje od stěny a vytváří tak aktivní oblast omílání. V této vrstvě probíhá 90 % omílání. Druhá oblast (jádro) se převaluje jen mírně. Optimální plnění bubnu je na 40 – 60 %. Aktivní vrstva tak

dosahuje největší délky a předmět v ní setrvává po 3/4 otáčky. Průměr bubnu se většinou volí 250 – 3200 mm. Otáčky se volí s ohledem na průměr bubnu, velikost a druh předmětu.



Obr. 6 - Aktivní vrstva I. a jádro II. [6]

Jako omílací tělesa se nejčastěji volí brusiva a brusné kameny nebo nosné kameny, které vytváří podklad pro brusivo. Používají se různé materiály jako křemen, žula, čedič, ale také lze použít kožené odpady, textil nebo dřevěné piliny. Omílací kameny a tělesa se po dobu procesu poměrně rychle obrousují a ztrácejí tak schopnost úběru. V takovém případě je nutné přidat vhodná brusiva. Vhodný je umělý korund, smírek, apod.. Poměr počtu součástí a omílacích těles je různý, obvykle se však volí 1 : 3, u těžší předmětů až 1:30. [6]

U mokrého omílání se používají kapaliny, jejichž účelem je smáčet povrch předmětů a tlumit vzájemné nárazy s omílacími tělesy. Kapalina může také chránit předmět po dobu omílání před korozí, nebo zvyšovat schopnost úběru omílacích těles.

Pro omílání se nejčastěji používá horizontálních omílacích bubnů nebo zvonů. Bubny se obvykle volí šestiboké, osmiboké, dvanáctiboké a to podle množství omílaného materiálu. Pro leštění se používají bubny válcové.

2.1.3 Broušení, leštění, kartáčování

Jedná se o mechanické úpravy povrchu, které se používají před vytvářením povlaku nebo jako konečné úpravy. Používají se pro odstranění nerovností povrchu, k dosažení lesku nebo k dosažení vhodného povrchu pro aplikaci povlaku.

Broušení

Jako nástroje pro broušení se používají kotouče nebo pásy, které mají nalepené brusné částice různých rozměrů. Brusné kotouče mohou být plstěné, dřevěné, látkové,... Postup při vybrušování se volí podle stupně nerovnosti. Postupuje se od hrubších brusiv k jemnějším. Hrubování má odstranit větší nerovnosti, hlazení střední nerovnosti, jemné hlazení se používá u oceli jako úprava pro galvanické povlaky. Poslední operací je jemné předlešťování před leštěním např. ocelí a nerezavějících ocelí. [6]

Leštění

Leštěním se dosahuje konečné požadované jakosti povrchu. Leštící kotouče se vyrábí z obdobných materiálů jako pro broušení, ale nejsou polepeny brusivem. Jako leštící prostředek se používají tukové nebo brusné pasty a suspenze, které se nanášejí na obvod kotouče. Při prvním leštění se používají mastnější i ostřejší pasty a tvrdší látkové kotouče. Při dolešťování se naopak používají sušší jemnější pasty, menší obvodové rychlosti a měkké kotouče. [6]

Kartáčování

Kartáčování se používá k odstraňování hrubých nečistot, starých nátěrů, rzi apod. K tomuto účelu se používají kartáče s ocelovými dráty. Kartáče s jemnými dráty např. mosaznými se používají na matovou úpravu povrchu. Kartáčovat lze také za účelem zjemnění upraveného povrchu před leštěním a pro dosažení stejnoměrného vzhledu. V tomto případě se používají kartáče z přírodních nebo umělých vláken (fibr, silon, sisal, žíně) mazané brusnými pastami. [6]

2.2 Chemické úpravy povrchu

Jsou takové úpravy, kdy chemická činidla reagují s nečistotami na povrchu materiálu. Radíme sem odmašťování, moření a částečně také leštění. Těmito operacemi se povrch připravuje pro aplikaci různých povlaků. Každý povlak je jinak citlivý na čistotu povrchu.

Nejchoulostivější jsou galvanické povlaky, méně potom povlaky nátěrových hmot a povlaky difuzní.

Nečistoty lze rozdělit na nečistoty ulpělé tj. různé mastnoty a v nich zachycený prach, zbytky brusných a leštících past a nečistoty vázané chemicky, které většinou vznikají jako produkt koroze, rez a okuje. [6]

2.2.1 Odmašťování

Odmašťování je proces, při kterém se z povrchu součásti odstraňují chemickou cestou nečistoty jako jsou mastnoty, tuky, oleje, atd...

Odmašťování v alkalických roztocích

Při tomto poměrně složitém procesu se mastné kyseliny neutralizují a přejdou do roztoku jako rozpustná mýdla. Povrchově aktivní mýdla působí příznivě na průběh odmašťování, snižují povrchové napětí mezi roztokem a mastnotou. Tímto způsobem probíhá odmašťování rostlinných a živočišných tuků. [6]

Odstraňování minerálních mastnot (oleje, vosky, vazelíny) probíhá obtížněji, protože tyto mastnoty se nezmýdelňují. Je zapotřebí zvýšené teploty, aby se ve formě drobných kapiček emulgovaly do roztoku odmašťovadla. Alkalické odmašťovací prostředky obsahují louh nebo sodu, dále jsou přítomny fosforečnany, křemičitany, povrchově aktivní látky a emulgátory. [6]

Odmašťování v organických rozpouštědlech

Tato metoda odmašťování je velmi rozšířená. Používá se především tam, kde není možné použít alkalické roztoky. Hodí se pro odmašťování velmi členitých povrchů, nebo povrchů s hrubými vrstvami oleje nebo tuků. Rozpouštědlo by mělo být stálé, nejedovaté, nehořlavé a mělo by rozpouštět všechny druhy nečistot. [6]

Elektrolytické odmašťování

V podstatě se jedná o elektrolýzu. Nejúčinnějším druhem je katodicko-anodické odmašťování. Spočívá v tom, že se předměty odmašťují určitou dobu na katodě a kratší dobu na anodě asi v poměru 3 : 1. Docílí se velmi dobrého odmaštění a hodí se především tam, kde následuje choulostivá povrchová úprava, jako je například

galvanické pokovování. Elektrolytické odmašťování se provádí v ocelových vanách vyložených sklem se 2 základními typy lázní. Kyanidové a bezkyanidové. Kyanidové jsou účinné, ale jejich nevýhodou je prudká jedovatost a obtížná neutralizace. [6]

Další metody odmašťování:

- v neutrálních roztocích
- v emulzních roztocích
- opalováním
- vysokotlaké kapalinné odmašťování

2.2.2 Moření

Mořením se z povrchu kovu chemickým způsobem odstraňují oxidické nečistoty (rez, okuje). Oxidy se působením kyselin nebo louhů převedou na rozpustné soli, které se z povrchu opláchnou vodou. Nejčastější prostředky pro moření jsou kyseliny. [6]

Moření v kyselině sírové

Rozpouštěním kyslíčnicku železa a pronikáním kyseliny oxidickým povlakem na jeho rozhraní s kovem se z povrchu ocele odstraňují rzi a okuje. Vodík, který vzniká při rozpouštění ocele podleptáváním povlaku se uvolňuje ve formě bublinek a svým tlakem pomáhá k odtrhávání oxidické vrstvy od základního materiálu. Vodík má na moření také nepříznivý vliv. Snadno difunduje do ocele a způsobuje její křehnutí. Potlačit vznik vodíkové křehkosti a zlepšit využití kyseliny umožňují inhibitory, které podstatně zpomalují rychlost rozpouštění ocele a při tom rychlost rozpouštění okují téměř neovlivňují. Samotné moření probíhá při koncentraci kyseliny sírové 5 – 20 % za pracovní teploty v rozmezí 40 – 70 °C. [6]

Moření v kyselině solné

V kyselině solné probíhá rozpouštění oxidů rychleji a rovnoměrněji než v kyselině sírové a při dostatečné rychlosti lze získat čistý povrch. Výpary z mořicí lázně jsou velmi agresivní a samotný proces je ekonomicky nákladnější. Rychlost mořicího procesu oceli v kyselině solné je závislá na její koncentraci, teplotě a také na pohybu mořicí lázně a obsahu Fe_2O_3 v okujích. Běžně se moří při koncentraci kyseliny solné 10 – 20 % za teploty 20 °C. [6]

Moření v kyselině fosforečné

Kyselina fosforečná působí při nižších teplotách pomaleji než kyselina sírová. Její účinek se s rostoucí teplotou podstatně urychluje. K moření se používá 15 % H_3PO_4 v rozmezí teplot 60 – 80 °C. Při teplotách nad 80 °C vyvolává silnou korozi oceli. Moří se do obsahu 7 % volné kyseliny fosforečné. Tento způsob není příliš hospodárný, protože náklady na moření jsou téměř dvakrát vyšší než při moření v kyselině sírové. Pro snížení nákladů je nutné mořit v kyselině solné s regenerací. [6]

3 Nátěrové hmoty

Nejběžnější a ekonomicky nejvhodnější ochrana výrobku před korozí je ochrana nátěrem. Nátěr je ucelený ochranný povlak jedné nebo více vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu. Nátěry zamezují přístupu vody a agresivních složek k povrchu kovu, avšak nikdy nejsou úplně bezpórovité. Proto antikorozní pigmenty a inhibitory koroze zneškodňují agresivní složky, které proniknou vrstvou nátěru k povrchu kovu. Tím zpomalují nebo zastavují průběh koroze. Povlaky z plastických hmot musí být úplně bezpórovité, protože neobsahují antikorozní pigmenty. Jejich mechanismus ochrany je bariérový. Nátěry nemusí plnit jen účel ochranný, ale také dekorativní, signální (pro bezpečnostní návěští), maskovací nebo speciální např. elektrovodivý. [6]

3.1 Složení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty jsou organické látky různých druhů, které po nanesení nejčastěji v tekutém stavu vytvoří na předmětu film požadovaných vlastností. Nátěrové hmoty můžeme rozdělit podle jejich vzhledu na:

- a) **transparentní** – průhledný, bezbarvý nátěrový film, který se označuje jako lak nebo fermež
- b) **pigmentové** – tvoří neprůhledný, barevný film s nízkým obsahem pigmentu, který se nazývá email. A nebo s vysokým obsahem pigmentu, který se nazývá tmel. [6]

Nátěrové hmoty obsahují tyto složky:

- a) filmotvorné složky (pojiva) jsou netěkavé látky, které mají schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Různá pojiva mají různé chemické složení a různé fyzikální vlastnosti. Požadované vlastnosti nátěru se často dosahují kombinací různých filmotvorných látek jako jsou např.: vysychavé oleje, přírodní a umělé živice, deriváty celulózy a kaučuku a jiné.
- b) těkavé složky a rozpouštědla - používají se při výrobě nátěrových hmot na rozpouštění pojiv a v procesu aplikace na úpravu jejich konzistence a viskozity. Nejčastěji se používají rozpouštědla jako jsou benzíny, benzény, alkoholy, ketony, glytery kyseliny octové a další.
- c) pigmenty – jsou to organické nebo anorganické částičky rozptýlené v pojivu, které dávají nátěrům barevný odstín, krycí schopnost, tvrdost Zvyšují jeho tepelnou a korozní odolnost, snižují stárnutí nátěrů. Můžeme je rozdělit do tří skupin:
 - inhibitorové pigmenty (suřík, zinková žluť, kyanamid olovnatý,...). Jejich ochranný účinek spočívá ve vytvoření těžko rozpustných sloučenin, v regulaci pH a tvorbě inhibičních látek popř. elektrochemické ochrany. Většinou se používají při výrobě základních nátěrových hmot.
 - neutrální pigmenty (chroman olovnatý, titaničitan olovnatý, titanová a zinková běloba, a jiné) se používají při výrobě vrchních nátěrů ke zlepšení jejich fyzikálních vlastností.
 - stimulující pigmenty (saze, grafit). Jedná se o chemicky netečné pigmenty, které mají dobrou elektrickou vodivost. Nejsou vhodné pro základní materiály, protože za přítomnosti elektrolytu urychlují korozi ocele, ale vzhledem k jejich malé chemické slučivosti se používají na pigmentaci vrchních ochranných nátěrů. Výběr pigmentů pro základní a vrchní nátěrové hmoty musí respektovat charakteristické vlastnosti korozního prostředí, pro které je nátěr určen.

- d) plniva – jedná se o jemně rozemleté minerální látky jako jsou: těživec, mastek, křída. Nejsou rozpustné v pojivech. Vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku.
- e) aditiva – můžeme jimi nazvat sušidla, emulgátory, zvláčňovadla, stabilizátory, jež jsou přísady do nátěrových hmot obsahujících vysychavé oleje. Základní účinnou složkou jsou kovová mýdla nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech. [6]

3.2 Nanášení nátěrových hmot

Správná volba technologie nanášení nátěrových hmot rozhodujícím způsobem ovlivňuje celkovou jakost a životnost nátěrů. Způsobů nanášení nátěrových hmot je mnoho. Při volbě vhodného způsobu nanášení je třeba dbát především na povahu nátěrové hmoty a na povahu natíraného předmětu. Dalšími faktory ovlivňujícími volbu nanášení jsou např.: velikost, tvar a množství upravovaných předmětů, požadované konečné vlastnosti nátěru. A v neposlední řadě také pracnost a ekonomická stránka jednotlivých technologií nanášení. [6]

Nanášení štětcem

Tento způsob nanášení patří k nejstarším způsobům vůbec a obecně je jeden z nejpoužívanějších i v současné době. Vyžaduje řemeslnou zručnost a vhodné odborně udržované štětce. Kratší štětiny štětců se používají pro hustší nátěry. Naopak pro řidší nátěry se používají delší štětiny, avšak jejich délka by neměla přesáhnout 5 cm. Výhodou nanášení nátěrů štětcem je velmi dobré rozpracování nátěrové hmoty, jejího rozetření a přilnutí do pórů. Docílí se tím dokonalé soudržnosti nátěru s podkladovým materiálem. Při tomto způsobu nanášení nejsou velké ztráty nátěrové hmoty, ale je zde značná pracnost. Nehodí se pro velkosériovou výrobu a pro tvarově složitě předměty. [6]

Nanášení navalováním

Tato metoda je vhodná především k nanášení nátěrových hmot na rovinné plochy. Provádí se pomocí navalovacích strojů, nejméně třemi válci. Válce jsou vyrobeny ze speciální gumy, a proto nátěrová hmota nesmí obsahovat látky, které by je poškodily (naleptaly). Výhodou jsou nízké ztráty při nanášení nátěrové hmoty a možnost dokonalé automatizace. [6]

Nanášení namáčením

Jde o velmi jednoduchou metodu, při které se předmět ponoří do nádrže s nátěrovou hmotou a potom se rovnoměrnou rychlostí vynořuje. Přebytká nátěrová hmota steče a její zbytek vytvoří samotný nátěr. Tloušťka nátěru je závislá na rychlosti vynořování. Tuto metodu je vhodné použít pro velkosériovou výrobu např. pro namáčení odlitků. [6]

Nanášení poléváním

Jedná se o obdobnou metodu jako je nanášení namáčením. Nejsou zde potřeba rozměrné nádrže jako u namáčení. Výrobky jsou zavěšeny na dopravníku, kde se na ně aplikuje sprška nátěrové hmoty. Nevýhodou je klínovitost nátěru, případné kapky a stékance na hranách. [6]

Nanášení pneumatickým stříkáním

Jedná se o velmi rozšířený způsob nanášení vhodný zejména pro rychle schnoucí nátěrové hmoty. Dosahuje se tím rovnoměrného nástřiku a velmi hladkého povrchu. Lze jej dobře mechanizovat a automatizovat. Pneumatické stříkání se provádí pomocí stříkací pistole, při čemž je proud nátěrové hmoty strháván proudícím stlačeným vzduchem. . Vytváří se tak kužel velmi jemných kapek, které se po dopadu na předmět slévají a tvoří souvislý povlak. Nevýhodou je zde značné rozprašování nátěrové hmoty do vzduchu. Proto je zapotřebí použít stříkací kabiny s odvětráváním. [6]

Nanášení v el. poli vysokého napětí

Využívá se zde fyzikálních zákonů o vzájemné přitažlivosti částic s opačným el. nábojem. Elektricky nabitě částice nátěrové hmoty putují k opačně polarizovanému povrchu předmětu, kde vytvářejí souvislou vrstvu nánosů. Nátěrová hmota se přivádí do stříkací pistole, která je připojena na vysoké napětí. Vlivem koronového výboje se ionizují molekuly kyslíku ve vzduchu za vzniku záporných iontů. Ty nabíjejí částičky nátěrové hmoty rozptýlené ve vzduchu, které jsou následně přitahovány k uzemněné, kladně nabitě elektrodě, kterou je předmět určený k nanášení. [6]

Elektroforézní nanášení

Do lázně s rozředěnou nátěrovou hmotou se ponoří elektricky vodivý předmět , který se připojí jako anoda. Katodou se stává kovová nádrž nebo vložená elektroda z nerezavějící oceli. Za působení stejnosměrného proudu se vytvoří mezi elektrodami

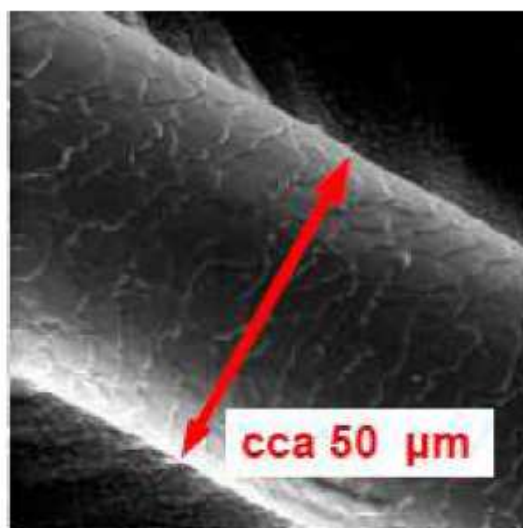
elektrické pole. Záporně nabitě částice sušiny nátěrové hmoty se pohybují směrem k anodě, kde odevzdají záporný elektrický náboj. Touto metodou se dosahuje rovnoměrného povlaku nejen na povrchu, ale i v dutinách předmětu. [6]

Kataforézní nanášení

Předměty jsou v kataforézní lázni zapojeny jako katody, na kterých se vylučuje organický povlak. Tato metoda se používá např. v automobilovém průmyslu při lakování karoserií, kde se po dobu ponoření (asi 200 s) vyloučí povlak základní barvy a tloušťce asi 18 μm . Kataforicky vyloučené povlaky disponují vyšší korozní odolností. [6]

3.3 Tenká vrstva

O tenké vrstvě hovoříme tehdy, pokud se jedná o materiál od tloušťky několik desítek nanometrů až do desítek mikrometrů, který je vytvořený na základním materiálu (substrátu). Pro lepší představu o tloušťce tenké vrstvy je na obr. 7 zobrazena tloušťka lidského vlasu. Tenké vrstvy se již delší dobu používají k povrchovým úpravám různých substrátů. Oblast využití tenkých vrstev je široká. Patří zde např. elektrotechnický průmysl, strojírenství, energetika, dekorační technika, atd.. [7]



Obr. 7 - Tloušťka lidského vlasu [7]

3.4 Nanotechnologie

Nanotechnologie patří k jednomu z nejčastěji diskutovaných témat technologií současnosti. Označuje se obecně jako vědní obor výzkumu a vývoje, který se zabývá cíleným vytvářením a využíváním struktur o velikostech několika nanometrů alespoň v jednom rozměru. Nanotechnologie zahrnuje také oblasti vědy, kde se jako konstrukční prvky používají molekuly nebo dokonce samotné atomy za účelem vytvoření nějakého objektu (např.: čip, tisíckrát menší struktury než vyráběné doposud). [8]

3.4.1 Nanomateriály (nanostrukturní materiály)

Jsou takové materiály, jejichž nové vlastnosti jsou určené charakteristickými znaky (částice, dutiny) s rozměrem 1-100 nm. Stavebními jednotkami jsou nanočástice s definovanými vlastnostmi např.: rozměry, tvarem, atomovou strukturou, chemickým složením, atd.. V některých případech, vlivem malých rozměrů, počet povrchových atomů převyšuje počet atomů ve vnitřním objemu. Tyto stavební jednotky jsou uspořádány v makroskopických materiálech s různorodým topologickým pořádkem a mohou sloužit pro vytváření rozměrnějších materiálů vhodných pro technické aplikace. [8]

Nanokompozity jsou materiály složené ze dvou nebo více různých složek, z nichž se alespoň jedna vyskytuje ve formě částic o velikosti jednotek až desítek nanometrů. Většinou se jedná o nanočástice aktivní látky, která má kvalitativně odlišné fyzikální vlastnosti oproti objemovému materiálu. Vlastnosti nanokompozitů jsou dány jednak jejich složením, ale současně také velikostí částic, jejich morfologií a uspořádáním. Kompozitní materiály mají širokou oblast použití např.: ukládání informací, magnetické chlazení, zobrazovací metody v medicíně, různé senzory a další. [8]

3.4.2 Využití nanotechnologií v automobilovém průmyslu

Jedním z nejznámějších přínosů nanotechnologie je tzv. lotosový efekt. U lotosového květu se díky jeho zvláště jemné struktuře povrchu voda a nečistoty oddělují od květu a nezanedávají žádnou stopu. Nanostruktura povrchu vytvořeného pomocí nátěrových hmot s tímto efektem se stává objektem výzkumu a zkoušek v automobilovém průmyslu. Snahou je například aplikace tohoto nátěrového systému na ráfky kol nebo dokonce na povrch celého vozu jako samočisticí lak, který by vylučoval nutnost zavést auto do myčky. [8]

Jedním z produktů nanotechnologie současnosti jsou okna autobusů, která mají protisluneční úpravu vytvořenou pomocí ultra tenké vrstvy nanočástic, která je vložena mezi dvě vrstvy laminátového skla. Tím se docílí odražení infračervených paprsků a předchází se tak přehřátí interiéru. Dalším příkladem může být aplikace antireflexivní vrstvy silné jen několik nanometrů na palubní desky přístrojů, tím nedochází k oslňování řidiče od skla, chránícího tuto palubní desku.

Předmětem dalšího výzkumu je také myšlenka dodávat pomocí nanotechnologie vozidlům solární energii. V současnosti lze vůz vybavit střešou vyrobenou z konvenčních solárních článků, jež jsou produktem mikrotechnologie, které jsou schopny generovat výkon asi 30 W a pohánět tak např. ventilátor klimatizace. Může se tak dosáhnout snížení teploty v interiéru vozidla až o 10 °C při vypnutém motoru i zapalování. [8]



Obr. 8 - Použití konvenčních solárních článků [8]

Současné vize jdou ale ještě dál, a to až za představou solární vrstvy, kterou bude možno nastříkat na vůz jako lak nebo ji na karoserii vozu nalepit. V ideálním případě by se potom z karoserie stala jedna velká solární baterie. Výhodou je velká plocha využitelného povrchu. Výroba elektrické energie touto cestou je relativně málo závislá na úhlu dopadajícího světla. [8]

Jako alternativa k solárnímu laku jsou zkoumány i vrstvičky ze solárních článků, které jsou složeny z fotoaktivní vrstvy obsahující polovodivé nanolamely. Jsou velmi ohebné a lze je použít na zakřiveném povrchu. Jejich výroba není nákladná. Tyto články mají ale zatím velmi nízkou účinnost a jsou poměrně nestabilní. Asi po půl roce u nich dochází k podstatnému poklesu výkonu. [8]

4 Metodika experimentálních prací

Postup při řešení experimentálních prací:

- vizuální vyhodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1,
- stanovení prachu na povrchu dle ČSN ISO 8502-3,
- měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287,
- stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808,
- měření přilnavosti nátěrových systémů,
 - a) odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1,
 - b) mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2,
- zhotovení řezu a mikrosnímků nátěrových systémů.

4.1 Podkladový materiál:

Pro účely zkoušek byl jako podkladový materiál použit tažený ocelový plech GOST 9045-80 značky 08KP – odpovídá oceli dle ČSN EN 41 11 320. Jedná se o podeutektoidní nízkouhlíkovou konstrukční ocel určenou k střednímu a hlubokému tažení.

C	P	S
max. 0,11 %	max. 0,045 %	max. 0,045 %

Tab. 3 – Chemické složení materiálu

Nejvyšší pevnost v tahu R_m	410 MPa
Nejnižší tažnost A_5	30 %

4.2 Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1

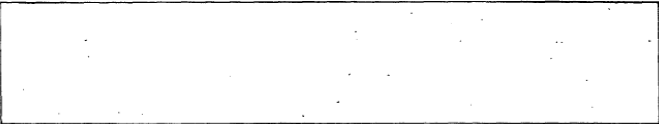


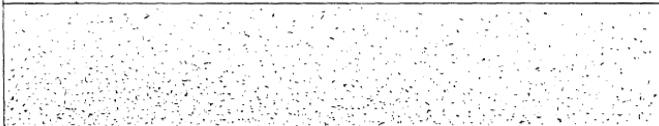
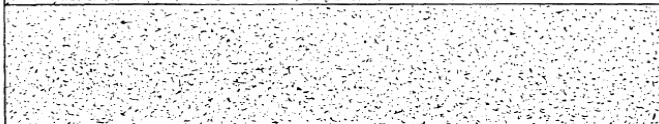
Při vizuálním hodnocení čistoty povrchu se povrch prohlédne prostým okem nejlépe při rozptýleném denním světle. Jako alternativu lze povrch prohlédnout při vhodném umělém osvětlení. Pátrá se při tom po stopách okují, rzi, nebo jiných okem viditelných nečistotách, které by mohly ovlivnit přilnavost, funkčnost nátěrového systému.

4.3 Stanovení prachu na povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Jedním z faktorů ovlivňujících funkčnost nátěrového systému je čistota povrchu podkladového materiálu, bezprostředně před aplikací nátěrového systému. I v tom případě, že se nám jevil povrch základního materiálu doposud jako čistý, může obsahovat drobné částice prachu. Tyto částice se na povrch mohou dostat během některého z procesů přípravy vzorku na aplikaci nátěrového systému nebo jednoduše jako důsledek okolního spadu.

Při provádění zkoušky se postupuje takto:

Samolepící páska o délce asi 200 mm se lehce přiloží na povrch. Přitlačí se asi 150 mm nepoužité pásky tím způsobem, že se na jeden konec přiloží palec a pohybuje se ním třikrát v každém směru za konstantního tlaku a rychlosti. Poté se páska sejme z povrchu a přemístí se na vhodný zobrazovací podklad např. bílý list papíru. Třením palce se přilepí. Vyhodnocování se provádí vizuálně porovnáním s obrazovou stupnicí. Poté se vyhodnocuje převládající velikost částic podle tabulky č. 4, která definuje šest tříd velikosti částic.

	1
	2
	3
	4
	5

Obr. 9 – Obrazová stupnice odpovídající množství prachu [13]

Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10 x
1	částice viditelné při zvětšení 10 x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 µm v průměru)
2	částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 µm a 100 µm v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5 mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 a 2,5 mm v průměru
5	částice větší než 2,5 mm v průměru

Tab. 4 – Třídy velikosti prachových částic [13]

4.4 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287

Měření drsnosti povrchu podkladového materiálu se na vzorku provádí před aplikací nátěrového systému. Pro měření byl použit přístroj Mitutoyo SurfTest SJ-301. Měření bylo opakováno celkem 10x. Výsledné hodnoty jsou zpracovány do tabulky.

Nastavení drsnoměru:

Work Name	Measuring Tool	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	λc	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	5	2,5 mm	GAUSS

Tab. 5 – Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo SurfTest SJ-301

4.5 Stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808

Měření tloušťky povlaku bylo provedeno magnetickou metodou pomocí přístroje Elcometer 345. Tloušťka povlaku se na každém vzorku měřila na různých místech celkem 20x. Soubor všech naměřených hodnot obsahuje příloha A.



Obr. 10 – Elcometer 345

4.6 Odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16276-1

Jedná se o destruktivní zkoušku nátěrových systémů. Provádí se na vytvrzeném nátěrovém systému. Nejprve se jemně obrousí část nátěrového systému na zvoleném místě vzorku. Namíchá se dvousložkové lepidlo v mísícím poměru 1:1. Lepidlo se poté nanese na funkční plochu válečku. Váleček se přilepí na připravené místo na zkušebním vzorku a nechá se 24 hodin vytvrdit. Po vytvrzení se pomocí řezného nástroje prořízne nátěrový systém podél válečku až na podklad. Na nátěr se umístí vnější prstenec a nasune se trhací zařízení. Následuje samotný odtrh. Z odtrhového přístroje se odečtou hodnoty odrhové pevnosti a posoudí se lomové plochy.

Použité přístroje a pomůcky:

- Zkušební přístroj Elcometer (rozsah hodnot 0 – 7 MPa)
- Dvousložkové epoxidové lepidlo Araldite Standart (mísící poměr 1:1, doba vytvrzení 24 hodin)
- Zkušební váleček (panenka) z hliníkové slitiny
- Ostrý nůž



Obr. 11 – Zkušební přístroj Elcometer

4.7 Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2

Tato destruktivní metoda hodnotí odolnost nátěrového systému k oddělení od podkladu. Zkušební vzorek se umístí na vodorovnou pevnou plochu. Na zvolené místo se přiloží vodící šablona a ostrým řezným nástrojem se zhotoví za konstantního tlaku a rychlosti 6 řezů tak, aby řezný nástroj pronikl až na podkladový materiál, přičemž vzdálenost řezů je závislá od tloušťky a typu povlaku. Následovně se vodící šablona otočí o 90° tak, aby vznikla mřížka a zhotoví se dalších 6 řezů. Vzniklá mřížka se několikrát lehce otre měkkým štětcem. Na mřížku se nalepí samolepící páska a přitlačí se konečky prstů. Poté se samolepící páska pod úhlem přibližně 60° trhnutím za dobu 0,5 s - 1s odstraní. Dle tabulky 6 se klasifikuje výsledek zkoušky.

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	–
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15 %	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35 %	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	–

Tab. 6 – Klasifikace výsledků zkoušek [18]

Pomůcky a nástroje:

- vodící šablona s vhodnými rozestupy mezer pro zhotovování řezů
- řezný nástroj (definované ostří v dobrém stavu)
- štětec
- samolepící páska šířky 25mm o přilnavosti 10N
- lupa s dvojnásobným až trojnásobným zvětšením



Obr. 12 – Vodící šablona

4.8 Zhotovení řezu a mikrosnímků

Vzorky byly naděleny na rozměr přibližně 10 x 15 mm na přístroji Discotom – 50 od firmy Struers. Nařezané vzorky byly zality vakuově za studena směsí epoxidové pryskyřice EpoFix Resin a tvrdidla EpoFix Hardener v poměru 25:3 pomocí přístroje CitoVac pro vakuové zalévání. Poté byly vzorky broušeny na přístroji TegraSystem brusnými papíry o zrnitosti: 180, 300, 800, 1200 a 2400 μm .

Mikrosnímky byly pořízeny na přístroji Neophot2



Obr. 13 – Neophot 2

5 Vyhodnocení experimentálních prací

V rámci spolupráce s NII – LKP Choťkovo, RF byly dodány vzorky s již aplikovaným nátěrovým systémem o rozměrech 100 x 150 mm a referenční vzorek (bez nátěru), podkladový materiál GOST 9045-80 značky 08KP o rozměru 100 x 150 mm

Označení vzorku	VZOREK
referenční	Ocelový podklad GOST 9045-80 značky 08KP
1	ocelový podklad s vodně disperzním dvouvrstvým nátěrovým systémem určeným na mostní konstrukce
1.4	ocelový podklad se základním nátěrovým systémem s obsahem zinku
2.4	ocelový podklad se základním nátěrovým systémem s obsahem zinku a krycím nátěrovým systémem na bázi polyuretanu

Označení vzorku	VZOREK
3.4	ocelový podklad s tixotropním nátěrovým systémem
18	ocelový podklad s transparentním jednovrstvým nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze určený na trubky, vytvrzený při 60 °C po dobu 1 h
19	ocelový podklad s transparentním jednovrstvým nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze určený na trubky

Tab. 7 – Vzorky použité k experimentálním pracím



Obr. 14 – Referenční vzorek - ocelový podklad GOST 9045-80 značky 08KP



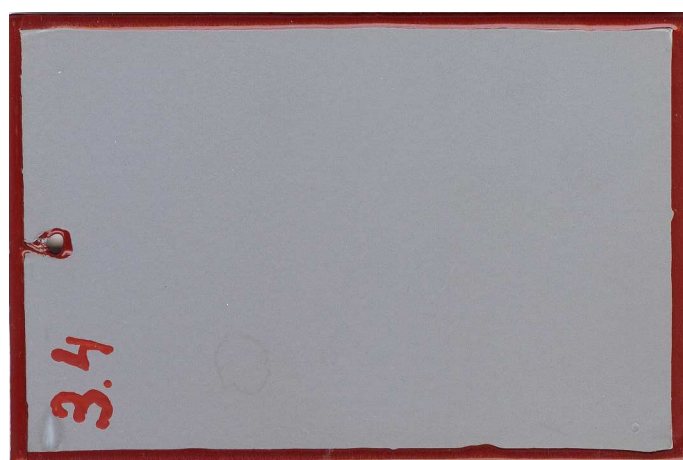
Obr. 15 – Vzorek č. 1 - ocelový podklad s vodně disperzním nátěrovým systémem určeným na mostní konstrukce



Obr. 16 – Vzorek č. 1.4 - ocelový podklad se základním nátěrovým systémem s obsahem zinku



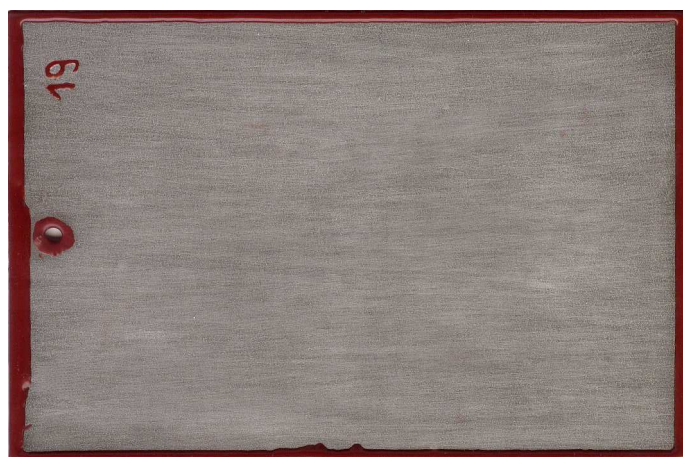
Obr. 17 – Vzorek č. 2.4 - ocelový podklad se základním nátěrovým systémem s obsahem zinku a krycím nátěrovým systémem na bázi polyuretanu



Obr. 18 – Vzorek č. 3.4 - ocelový podklad s tixotropním nátěrovým systémem



Obr. 19 – Vzorek č. 18 - ocelový podklad s transparentním jednovrstvým nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze určený na trubky, vytvrzený při 60 °C po dobu 1 h



Obr. 20 – Vzorek č. 19 - ocelový podklad s transparentním jednovrstvým nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze určený na trubky

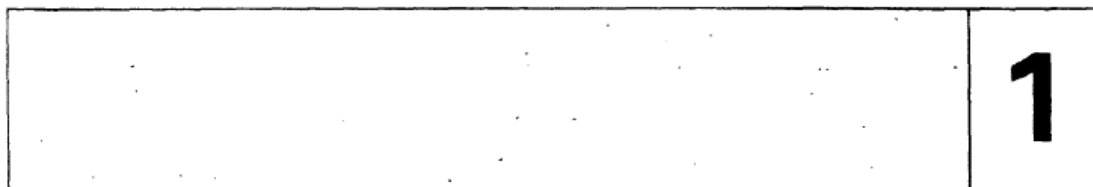
5.1 Výsledek vizuálního vyhodnocení čistoty povrchu

Vizuální hodnocení čistoty povrchu bylo provedeno na referenčním vzorku, který byl dodán současně se vzorky s aplikovanými nátěrovými systémy z RF.

Povrch referenčního vzorku dosahuje stupně St 3, tedy velmi důkladné ruční a mechanizované čištění. Povrch po prozkoumání pouhým okem nevykazuje žádné stopy po mastnotách, olejích, nečistotách, okujích, rzi, zbytcích starého nátěru nebo cizích látek.

5.2 Výsledek stanovení prachu na povrchu

Zkouška ke stanovení prachu na povrchu byla provedena celkem 3 x, vždy s výsledkem čistoty povrchu – stupeň č. 1



Obr. 21 – Množství prachu na povrchu odpovídající stupni č.1 [13]

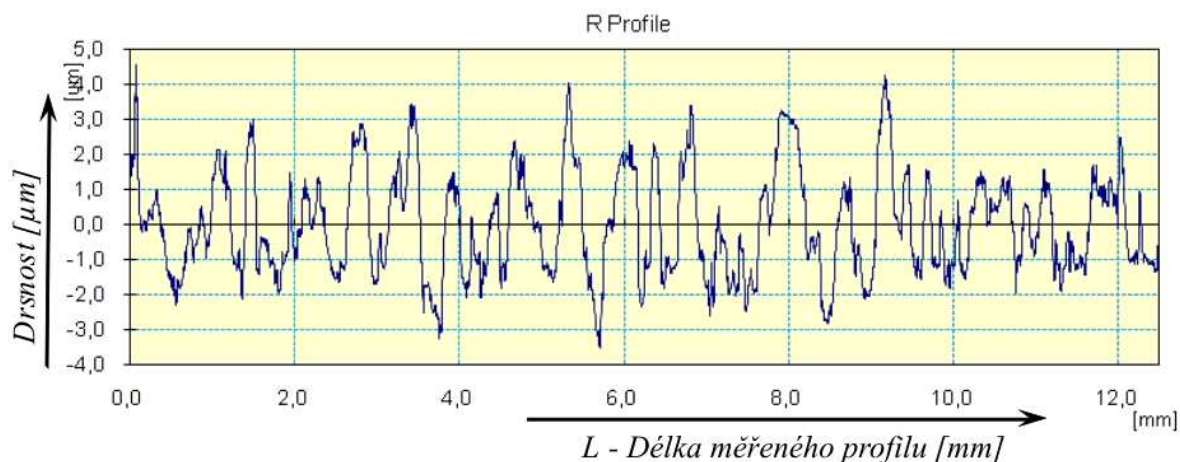
Třída velikosti prachových částic:

Třída č. 2 – částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru)

5.3 Vyhodnocení drsnosti podkladového materiálu

Vzorek:	referenční							
Parametry:	$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, $l = 12,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ry [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,89	5,42	3,78	1,13	2,97	2,45	0,39	2,88
2	1,08	5,94	4,01	1,32	3,26	2,68	0,48	2,59
3	0,93	5,51	3,94	1,18	3,09	2,42	0,27	2,95
4	1,09	6,27	4,46	1,32	3,6	2,66	0,46	2,56
5	1,11	5,95	4,26	1,37	3,51	2,44	0,51	2,75
6	1,02	6,37	4,18	1,26	3,49	2,88	0,44	3,17
7	1,23	6,53	4,44	1,44	3,74	2,79	0,33	2,29
8	1,13	6,03	4,36	1,38	3,16	2,87	0,15	2,41
9	0,83	5,32	3,39	1,05	2,91	2,4	0,31	3,19
10	1,11	5,85	4,17	1,36	3,35	2,5	0,48	2,61
Ø	1,04	5,92	4,10	1,28	3,31	2,61	+	2,74

Tab. 8 – Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu



Graf 1 – Drsnost povrchu referenčního vzorku

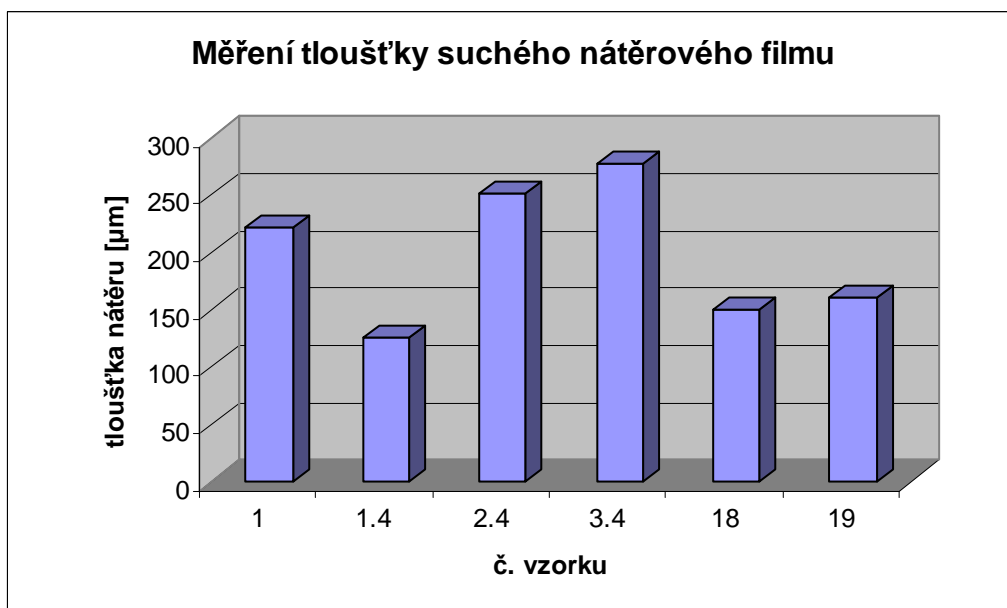
Hodnota průměrné aritmetické úchytky R_a , hodnota největší výšky profilu R_z , stejně jako i ostatní hodnoty, vychází velmi nízka. Je to dáno důkladným ručním nebo mechanizovaným čištěním, broušením, leštěním.

5.4 Výsledky stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu

Tloušťka nátěrového systému byla na každém vzorku naměřena 20x. Soubor všech naměřených hodnot obsahuje příloha A

č. vzorku	1	1.4	2.4	3.4	18	19
Průměrná tloušťka nátěru [μm]	222,2	124,9	250,9	277,0	149,9	160,7

Tab. 9 – Průměrné tloušťky nátěrů



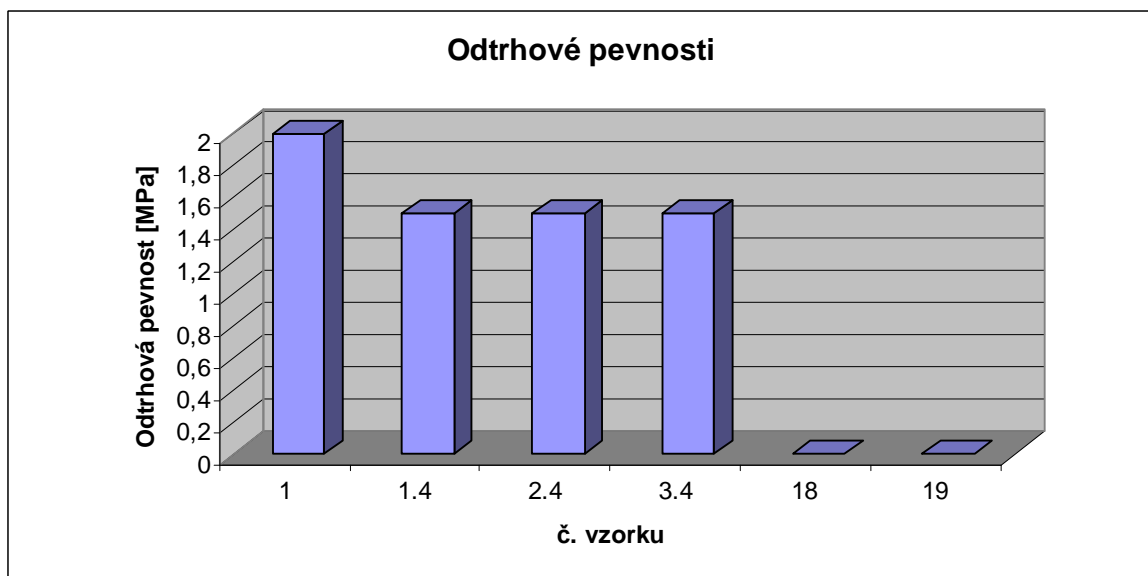
Graf 2 – Průměrné tloušťky nátěrů

Nejmenší průměrná tloušťka nátěrového systému 124,9 μm byla naměřena u vzorku č. 1.4. jedná se o základní nátěrový systém s obsahem zinku. K této hodnotě se pak již blíží jen tloušťky nátěrů na vzorcích č. 18 a č. 19. Naopak největší průměrná tloušťka 277,0 μm byla naměřena na vzorku č. 3.4 - ocelový podklad s tixotropním nátěrovým systémem.

5.5 Výsledky odtrhové zkoušky

č. vzorku	1	1.4	2.4	3.4	18	19
Průměrná odtrhová pevnost [MPa]	2	1,5	1,5	1,5	0	0

Tab. 10 – Průměrná odtrhová pevnost



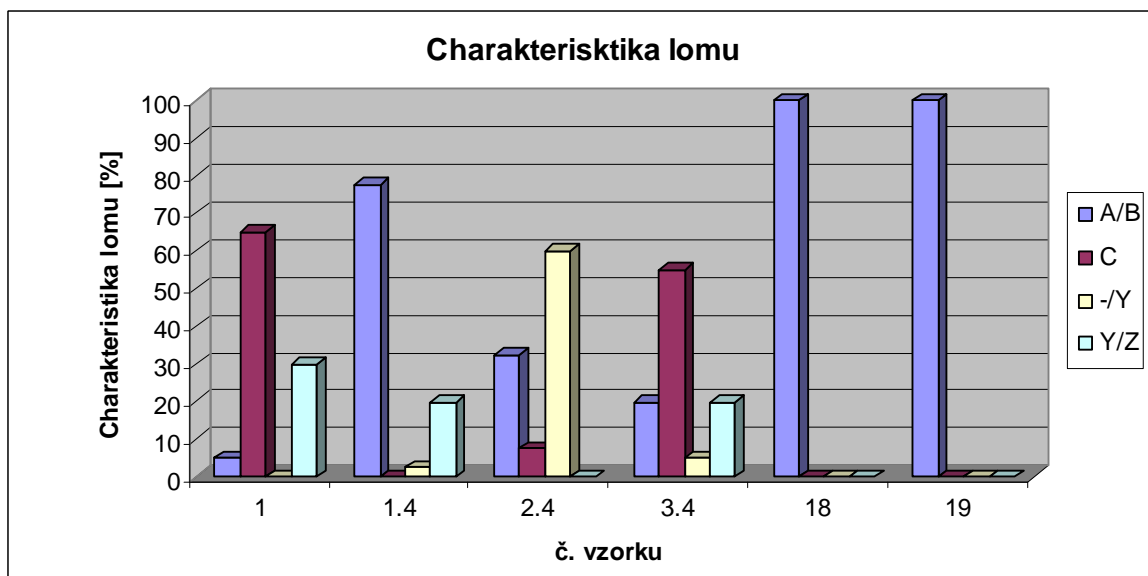
Graf 3 – Odrhové pevnosti

Obecně o dobré přilnavosti hovoříme, dosahuje-li odtrhová pevnost **3 MPa** a výše. Z grafu je jasně viditelné, že **ani jeden ze vzorků takové odtrhové pevnosti nedosahuje**. Relativně nejlépe dopadl vzorek č. 1, ocelový podklad s vodně disperzním dvouvrstevným nátěrovým systémem s průměrnou odtrhovou pevností 2 MPa. Nejhorších výsledků dosahují vzorky č. 18 a č. 19, s transparentním jednovrstevným nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze, (vytvrzený i nevytvrzený), jelikož k odtržení došlo už při očišťování.

Charakteristika lomu

č. vzorku	Charakteristika lomu [%]			
	A/B	C	-/Y	Y/Z
1	5	65	-	30
1.4	77,5	-	2,5	20
2.4	32,5	7,5	60	-
3.4	20	55	5	20
18	100	-	-	-
19	100	-	-	-

Tab. 11 – Charakteristiky lomu



Graf 4 – Charakteristika lomu

A/B - adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou (základem)

C - kohezní poškození druhé vrstvy

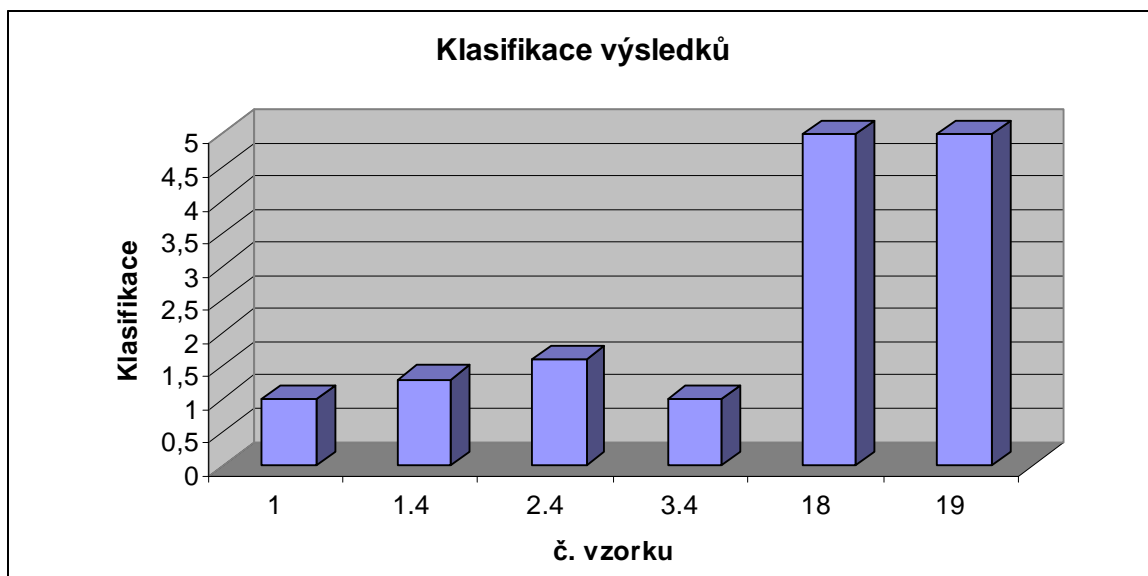
-/Y - adhezní poškození mezi druhou vrstvou a lepidlem

Y/Z - adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem

5.6 Výsledky mřížkové zkoušky

č. vzorku	1	1.4	2.4	3.4	18	19
Průměrná klasifikace	1	1,3	1,6	1	5	5

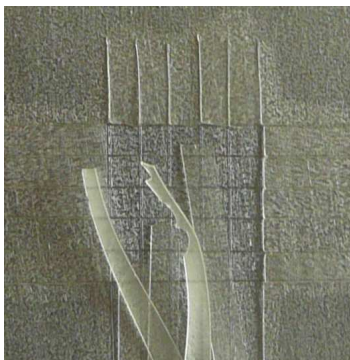
Tab. 12 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky



Graf 5 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky

Mřížková zkouška hodnotí především odolnost nátěrového systému k oddělení od podkladu. Nelze jí tedy plnohodnotně považovat za měření přilnavosti. Hodnotí se podle klasifikační stupnice, která je součástí ČSN EN ISO 2409.

Z grafu č. 5 je patrné, že vzorek č. 1 s vodně disperzním dvouvrstvým nátěrovým systémem a vzorek č. 3.4 s tixotropním nátěrovým systémem dosahují velmi dobrých výsledků. Drobné kousky nátěrového systému byly odloupnuty pouze v místě křížení řezů. Celková poškozená plocha však nepřesahuje 5 %. U vzorku č. 1.4 se základním nátěrovým systémem s obsahem zinku a vzorku č. 2.4 se základním nátěrovým systémem s obsahem zinku a krycím povlakem na bázi polyuretanu se poškozená plocha pohybuje v rozmezí od 5 do 15 %. Jednoznačně nejhorších výsledků dosahují vzorky č. 18 a č. 19 s transparentním jednovrstvým nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorom koroze (vytvrzený i nevytvrzený), kde nastává v místě řezu celkový odlup nátěrového systému.



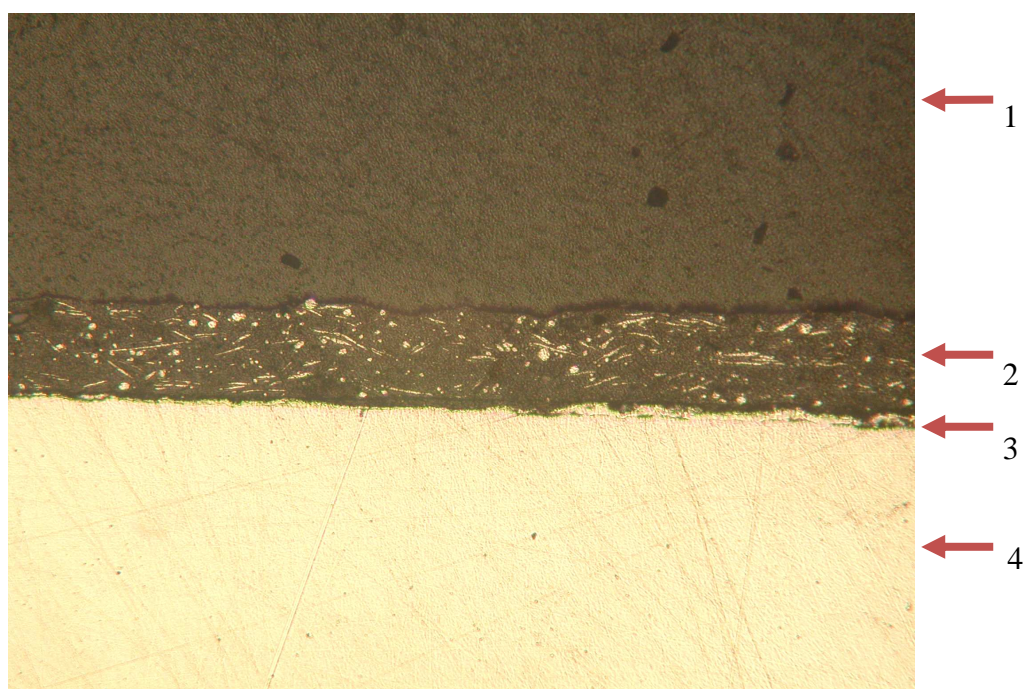
Obr. 22 – Odloupnutí nátěrového systému v místě mřížkové zkoušky (vzorek č. 18)

5.7 Zhotovené mikrosnímky



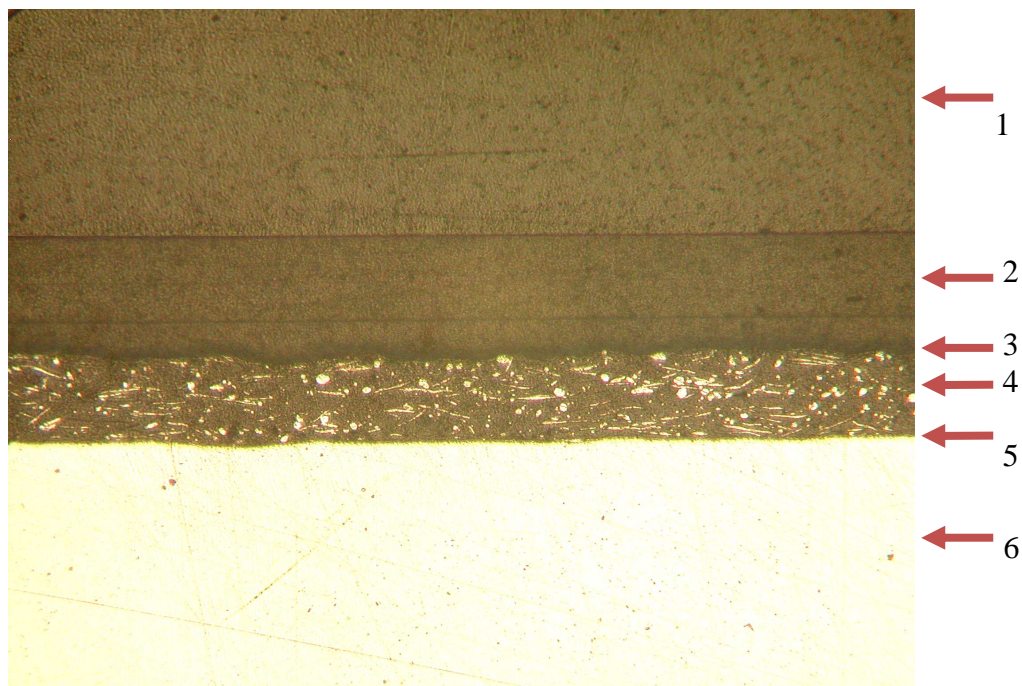
Obr. 23 - Vodně disperzní dvouvrstvý nátěrový systém (zvětšeno 100x)

Vysvětlivky: 1 – bakelit, 2 – nátěrový systém, 3 – fázové rozhraní, 4 – ocelový podklad



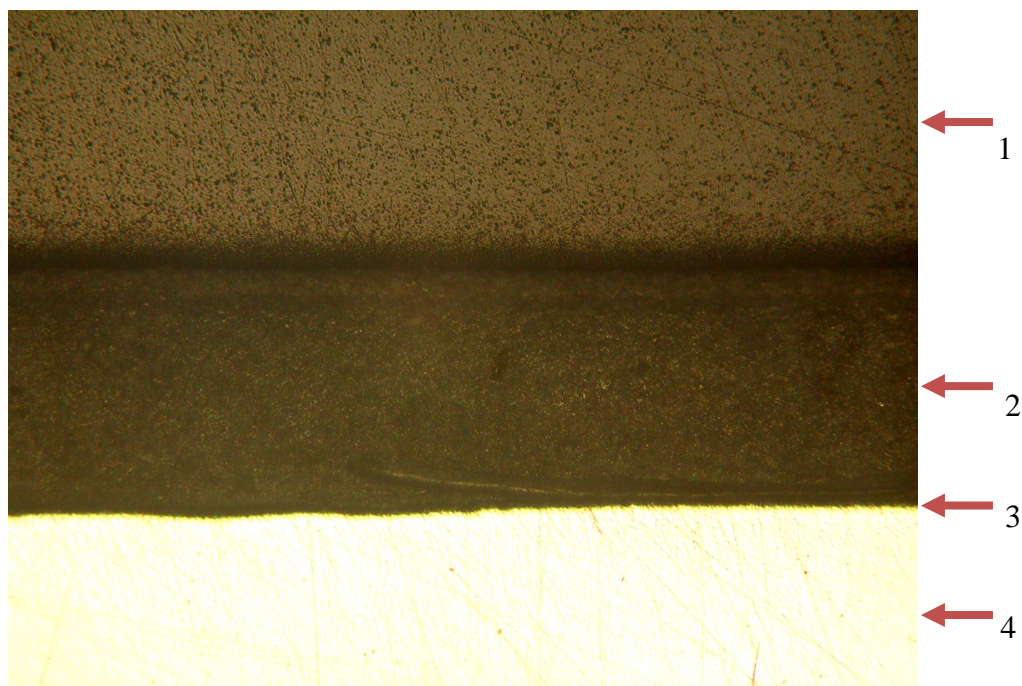
Obr. 24 - Základní nátěrový systém s obsahem zinku (zvětšeno 100x)

Vysvětlivky: 1 – bakelit, 2 – nátěrový systém, 3 – fázové rozhraní, 4 – ocelový podklad



Obr. 25 - nátěrový systém s obsahem zinku a krycím nátěrovým systémem na bázi polyuretanu (zvětšeno 100x)

Vysvětlivky: 1 – bakelit, 2 – krycí nátěrový systém, 3 – fázové rozhraní, 4 – nátěrový systém s obsahem zinku, 5 - fázové rozhraní, 6 – ocelový podklad



Obr. 26 - Tixotropní nátěrový systém (zvětšeno 200x)

Vysvětlivky: 1 – bakelit, 2 – nátěrový systém, 3 – fázové rozhraní, 4 – ocelový podklad



Obr. 27 - Transparentní jednovrstvý nátěrový systém na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze, vytvrzený při 60 °C po dobu 1 h (zvětšeno 100x)

Vysvětlivky: 1 – bakelit, 2 – nátěrový systém, 3 – fázové rozhraní, 4 – ocelový podklad



Obr. 28 - Transparentní jednovrstvý nátěrový systém na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitorem koroze (zvětšeno 200x)

Vysvětlivky: 1 – bakelit, 2 – nátěrový systém, 3 – fázové rozhraní, 4 – ocelový podklad

Z pořízených mikrosnímků jsou dobře zřetelná fázová rozhraní. Na fázových rozhraních nebylo viditelné poškození.

Ačkoli byl vzorek č. 1 - ocelový podklad s vodně disperzním dvouvrstvým nátěrovým systémem určeným na mostní konstrukce specifikován jako dvouvrstvý, na pořízeném mikrosnímku je patrná pouze jedna vrstva nátěrového systému.

6 Závěr:

Bakalářská práce se zabývá studiem rozhraní substrát – tenký povlak. Teoretická část uvádí základní pojmy týkající se kovového povrchu a jeho vlastností. Podrobněji jsou zde popsány předběžné úpravy povrchu, které jsou důležité pro dobrou přilnavost a životnost nátěrového systému. Jedná se o mechanické úpravy povrchu, mezi které patří otryskávání, omílání, broušení, leštění a kartáčování. A o chemické úpravy povrchu, mezi které patří odmašťování a moření. Všechny tyto operace jsou zaměřeny především na odstraňování nečistot ať už chemicky nebo mechanicky vázaných a na vytváření vhodného povrchu pro zakotvení nátěrového systému. Poslední kapitola teoretické části se zabývá složením a nanášením nátěrových hmot. Obsahuje pojmy jako jsou tenká vrstva a nanotechnologie.

Pro experimentální část práce byly v rámci spolupráce s NII – LKP Choťkovo, RF dodány vzorky s různými aplikovanými nátěrovými systémy. Nátěrové systémy byly aplikovány na podkladový materiál GOST 9045-80 značky 08KP. Tento podkladový materiál vykazoval výbornou čistotou povrchu (St 3), což svědčí o velmi dobrém mechanizovaném nebo ručním čištění. V důsledku tohoto čištění dosahovala naměřená drsnost poměrně nízkých hodnot ($R_a = 1,04 \mu\text{m}$, $R_z = 5,92 \mu\text{m}$).

Při měření tloušťky nátěrového systému dosáhl nejmenší průměrné hodnoty ($124,9 \mu\text{m}$) vzorek č. 1.4 - základní nátěrový systém s obsahem zinku. K této hodnotě se pak blíží jen tloušťky nátěrových systémů na vzorku č. 18 ($149,9 \mu\text{m}$) a č. 19 ($160,7 \mu\text{m}$). Největší průměrná tloušťka nátěrového systému ($277,0 \mu\text{m}$) byla naměřena na vzorku č. 3.4 - ocelový podklad s tixotropním nátěrovým systémem.

Měření přilnavosti nátěrových systémů bylo provedeno pomocí odtrhové a mřížkové zkoušky. Obecně o dobré přilnavosti hovoříme je - li odtrhová pevnost 3 MPa a více. Nejvyšší dosažená odtrhová pevnost (2 MPa) byla naměřena na vzorku č. 1 - ocelový podklad s vodně disperzním dvouvrstvým nátěrovým systémem. K charakteristickému lomu zde docházelo z 65% v první vrstvě. Řezy při mřížkové zkoušce byly mírně poškozené. Jejich poškození však nepřesahovalo 5% . Nejhorších výsledků odtrhové pevnosti (0 MPa) dosahují vzorky č. 18 a č. 19 s transparentním jednovrstvým nátěrovým systémem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibitoru koroze (vytvrzený i nevytvrzený). Adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou dosahovalo u těchto

vzorků 100 %. K odtržení zde došlo již při očišťování. Mřížková zkouška byla vyhodnocena jako stupeň 5. Docházelo k odlupování celých pásů nátěrového systému.

Z těchto výsledků lze usuzovat, že přilnavost zkoušených nátěrových systémů není příliš dobrá. Po komplexním zhodnocení dosahuje nejlepších výsledků vzorek č. 1 - ocelový podklad s vodně disperzním dvouvrstevným nátěrovým systémem určeným na mostní konstrukce.

7 Seznam použité literatury:

- [1] BUMBÁLEK, L., BUMBÁLEK, B., *Pokrokové trendy v hodnocení textury*, [online]. [cit. 2010-3-19].
URL:<http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/44_Bumbalek_VUTBR.pdf>
- [2] VOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F., *Základy konstruování*, Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno 2006, ISBN 80-7204-458-3
- [3] KRAUS, V., *Povrchy a jejich úpravy*, [online]. [cit. 2010-3-21].
URL:<<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>>
- [4] FIALA, J., KRAUS, I., *Povrchy a rozhraní*, Vysokoškolská učebnice, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2009, 978-80-01-04248-9
- [5] PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., HRABOVSKÁ, K., DOBROVODSKÁ, L., PELIKÁNOVÁ, K., VIKTOROVIČ MENŠIKOV, V., *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*, [online]. [cit. 2010-3-22].
URL:<<http://konference.tanger.cz/data/metal2009/sbornik/Lists/Papers/036.pdf>>
- [6] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav*, Ostrava 2006, ISBN 80-248-1217-7
- [7] *Tenké vrstvy*, [online]. [cit. 2010-3-23].
URL:<http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf>
- [8] *Povrcháři*, [online]. 1. číslo, Leden 2008, [cit. 2010-3-25].
URL:<http://www.povrchari.cz/kestazeni/200801_povrchari.pdf>
- [9] FILIPOVÁ, Marcela. *Studium vlivu povrchové úpravy podkladového materiálu na vlastnosti aplikovaných povlaků*, Ostrava 2006, 63s., Vědecké spisy Fakulty strojní na VŠB – TU Ostrava, Edice: Autoreferáty disertačních prací. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc. ISBN 80-284-1139-1
- [10] *Tikkurila*, [online]. [cit. 2010-3-23].
URL:<http://www.tikkurila.cz/dekorativni_barvy/navody/obvykle_chyby_pri_povrchu_ve_uprave/problemy_pri_natirani_v_interieru/spatne_smaceni_podkladu>
- [11] KOLASINSKY, K. W.: *Surface Science. Foundations of Catalysis and Nanoscience*. John Wiley and Sons, LTD, England, 200. 300s ISBN 0-471-49245-0.
- [12] ČSN EN ISO 8501-1: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2007

- [13] ČSN ISO 8502-3: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu. Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepicí páskou).* Praha: Český normalizační institut, 1996
- [14] ČSN EN ISO 4287: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* Praha: Český normalizační institut, 1999
- [15] ČSN EN ISO 2808: *Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru.* Praha: Český normalizační institut, 2007
- [16] ČSN EN ISO 16276-1: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost). povlaku - Část 1: Odtrhová zkouška.* Praha: Český normalizační institut, 2008
- [17] ČSN EN ISO 16276-2: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez.* Praha: Český normalizační institut, 2008
- [18] ČSN EN ISO 2409: *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška.* Praha: Český normalizační institut, 2007

Seznam příloh:

Příloha A Soubor naměřených tloušťek povlaků

Seznam obrázků:

Obr. 1	Geometrie povrchu	11
Obr. 2	Profil povrchu	12
Obr. 3	Profil drsnosti povrchu	12
Obr. 4	Příklad špatného smáčení	14
Obr. 5	Tryskání metacími koly	15
Obr. 6	Aktivní vrstva I. a jádro II.	17
Obr. 7	Tloušťka lidského vlasu.....	25
Obr. 8	Použití konvenčních solárních článků	27
Obr. 9	Obrazová stupnice odpovídající množství prachu	29
Obr. 10	Elcometer 345	31
Obr. 11	Zkušební přístroj Elcometer	32
Obr. 12	Vodící šablona	33
Obr. 13	Neophot 2	34
Obr. 14	Referenční vzorek - ocelový podklad GOST 9045-80 značky 08KP.....	35
Obr. 15	Vzorek č. 1 - ocelový podklad s vodně disperzním dvouvrstevným povlakem určeným na mostní konstrukce	35
Obr. 16	Vzorek č. 1.4 - ocelový podklad se základním povlakem s obsahem zinku	36
Obr. 17	Vzorek č. 2.4 - ocelový podklad se základním povlakem s obsahem zinku a krycím povlakem na bázi polyuretanu	36
Obr. 18	Vzorek č. 3.4 - ocelový podklad s tixotropním povlakem.....	36
Obr. 19	Vzorek č. 18 - ocelový podklad s transparentním jednovrstevným povlakem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibítorem koroze určený na trubky, vytvrzený při 60 °C po dobu 1 h.....	37
Obr. 20	Vzorek č. 19 - ocelový podklad s transparentním jednovrstevným povlakem na bázi vodně disperzního akrylátu s nanoinhibítorem koroze určený na trubky.....	37
Obr. 21	Množství prachu na povrchu odpovídající stupni č.1	38
Obr. 22	Odloupnutí nátěrového systému v místě mřížkové zkoušky (vzorek č. 18).....	43
Obr. 23	Vodně disperzní dvouvrstevný povlak (zvětšeno 100x)	44
Obr. 24	Základní povlak s obsahem zinku (zvětšeno 100x).....	44
Obr. 25	Povlak s obsahem zinku a krycím povlakem na bázi polyuretanu (zvětšeno 100x).....	45
Obr. 26	Tixotropní povlak (zvětšeno 200x).....	45

- Obr. 27 Transparentní jednovrstvý povlak na bázi vodně disperzního akrylátu
s nanoinhibitorem koroze, vytvrzený při 60 °C po dobu 1 h (zvětšeno 100x)46
- Obr. 28 Transparentní jednovrstvý povlak na bázi vodně disperzního akrylátu
s nanoinhibitorem koroze (zvětšeno 200x).....46

Seznam tabulek a grafů:

Tab. 1 - Oblasti povrchu.....	10
Tab. 2 - Smáčení povrchu	13
Tab. 3 – Chemické složení materiálu	28
Tab. 4 – Třídy velikosti prachových částic	30
Tab. 5 – Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301	30
Tab. 6 – Klasifikace výsledků zkoušek.....	33
Tab. 7 – Vzorky použité k experimentálním pracím.....	35
Tab. 8 – Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu	38
Tab. 9 – Průměrné tloušťky nátěrů.....	39
Tab. 10 – Průměrná odtrhová pevnost	40
Tab. 11 – Charakteristiky lomu.....	41
Tab. 12 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky	42
 Graf 1 Drsnost povrchu na referenčního vzorku	39
Graf 2 Průměrné tloušťky nátěrů	40
Graf 3 Odtrhové pevnosti	41
Graf 4 Charakteristika lomu	42
Graf 5 Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky	43

Příloha A

Tloušťka povlaku [μm]						
č. vzorku / č. měření	1	1.4	2.4	3.4	18	19
1	208	122	246	278	144	159
2	223	120	255	279	163	163
3	221	121	242	274	150	151
4	233	127	257	268	148	166
5	200	125	239	279	141	178
6	249	127	246	286	163	173
7	210	130	255	274	147	158
8	213	120	255	280	149	157
9	222	122	241	278	145	166
10	251	117	247	282	146	157
11	206	127	256	270	144	158
12	231	130	261	277	157	156
13	218	123	250	273	146	159
14	231	128	256	262	164	158
15	207	126	263	280	141	160
16	250	124	256	283	173	159
17	218	130	234	264	147	162
18	209	134	243	290	141	163
19	221	120	269	281	146	160
20	223	124	246	282	143	151
Ø	222,2	124,85	250,85	277	149,9	160,7